

明志科技大學 材料工程系

2025 第19屆四技頂石專題競賽

利用高功率脈衝磁控濺鍍系統製備銅膜

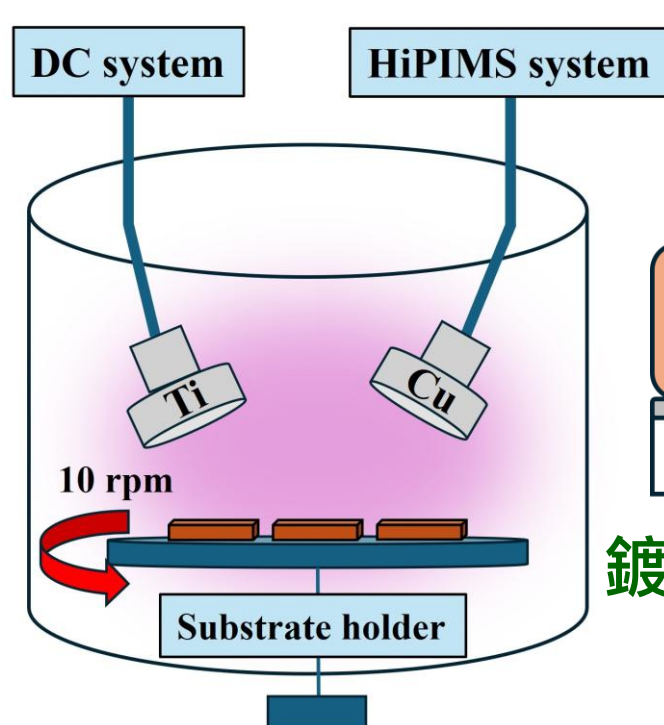
材料工程系 余恆慶(U10187107)、何知諺(U10187106)

指導老師：張麗君 教授

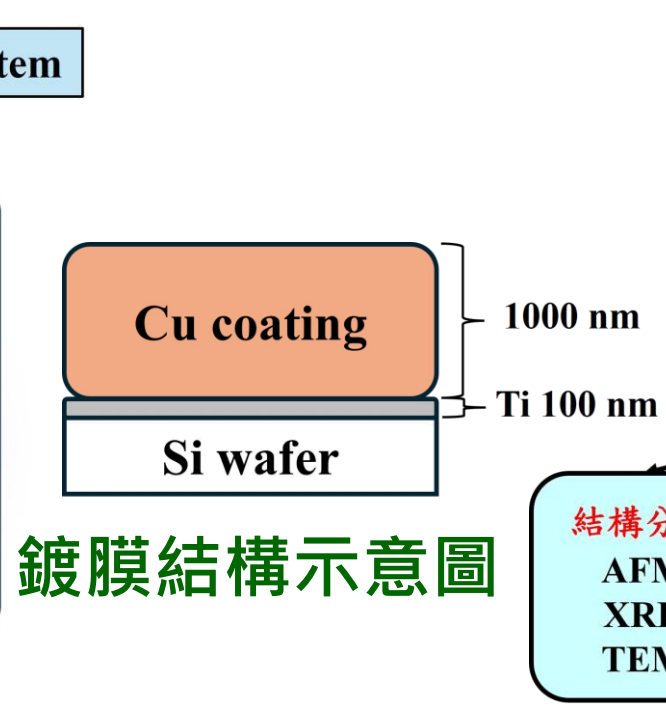
摘要

高功率脈衝磁控濺鍍系統(High-Power Impulse Magnetron Sputtering, HiPIMS)具備比傳統的直流濺鍍系統較高的解離率，所製備的膜層具有較好的緻密性及表面平整度，提高鍍膜品質。本研究利用HiPIMS製備銅膜，探討基板偏壓及其施加的模式對銅膜結晶結構、表面粗糙度、電學特性及機械性質的影響，期望該銅膜可應用於電子構裝製程的鍵合材料。

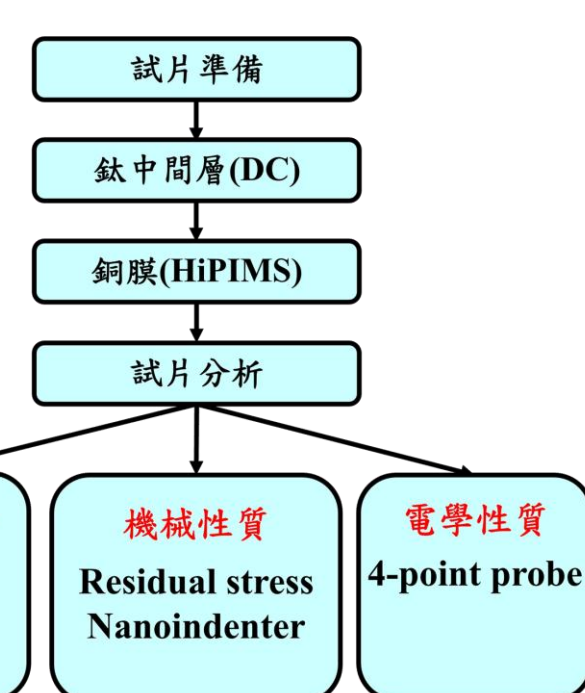
實驗方法



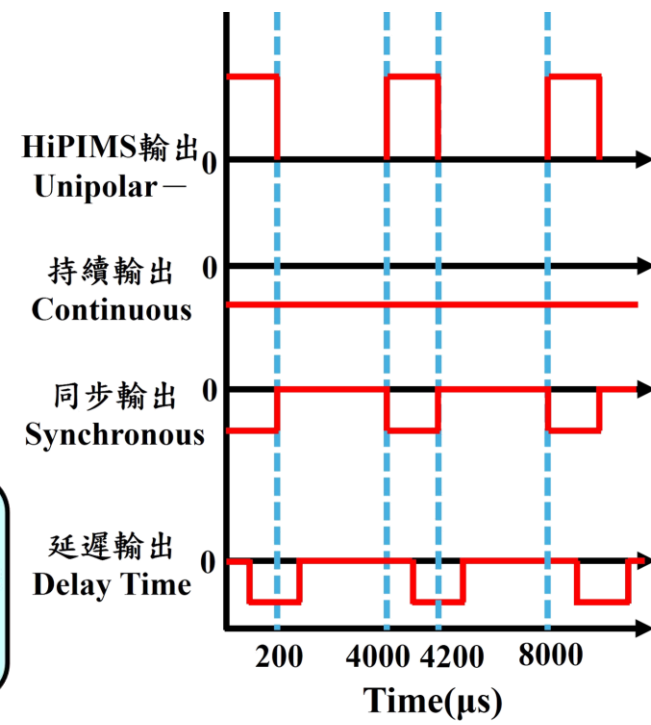
鍍膜製程示意圖



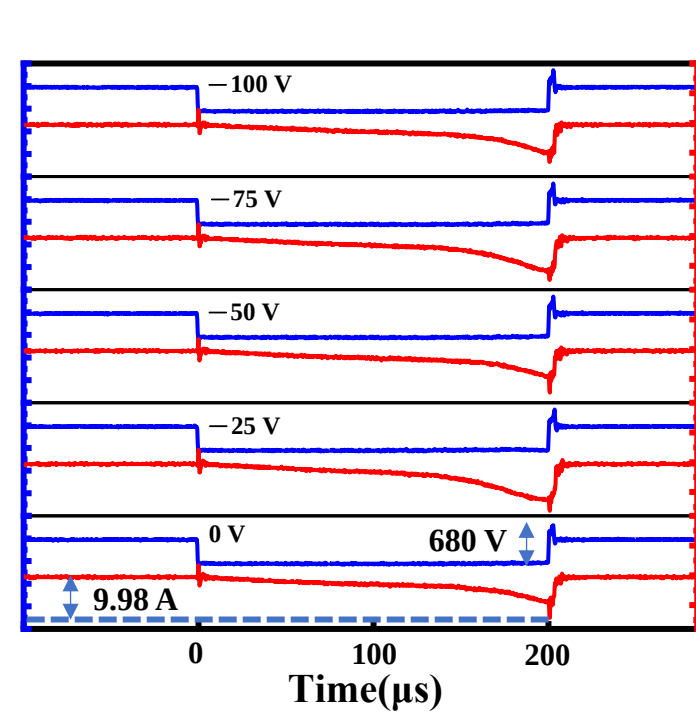
鍍膜結構示意圖



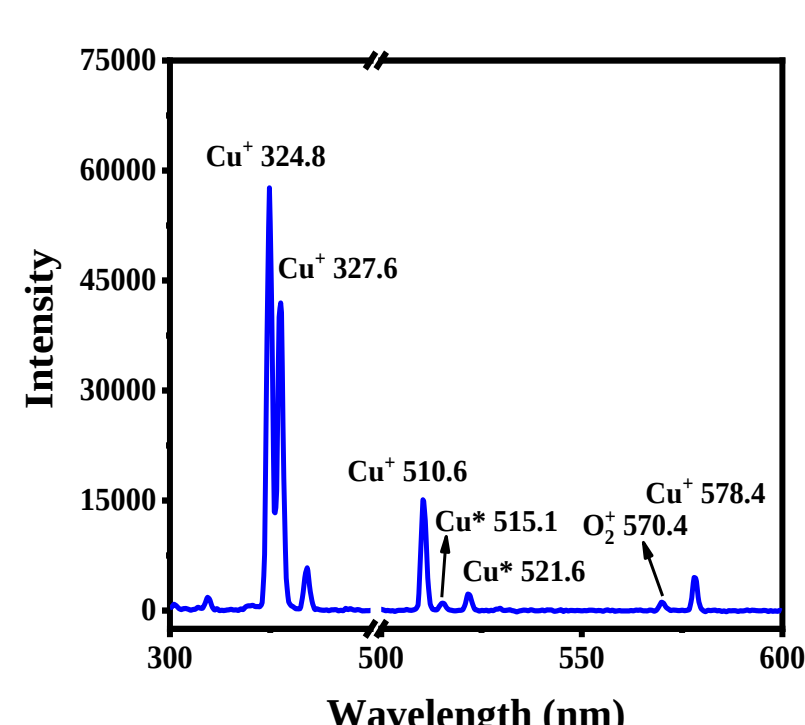
實驗流程示意圖



偏壓模式示意圖



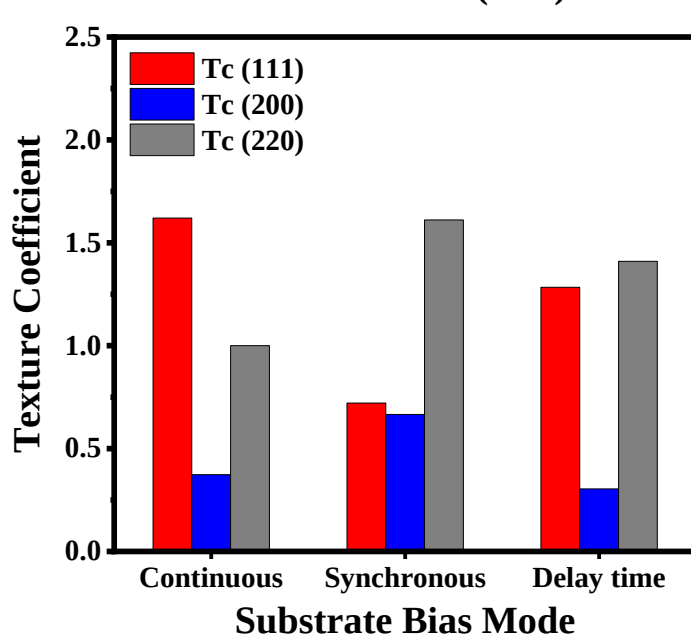
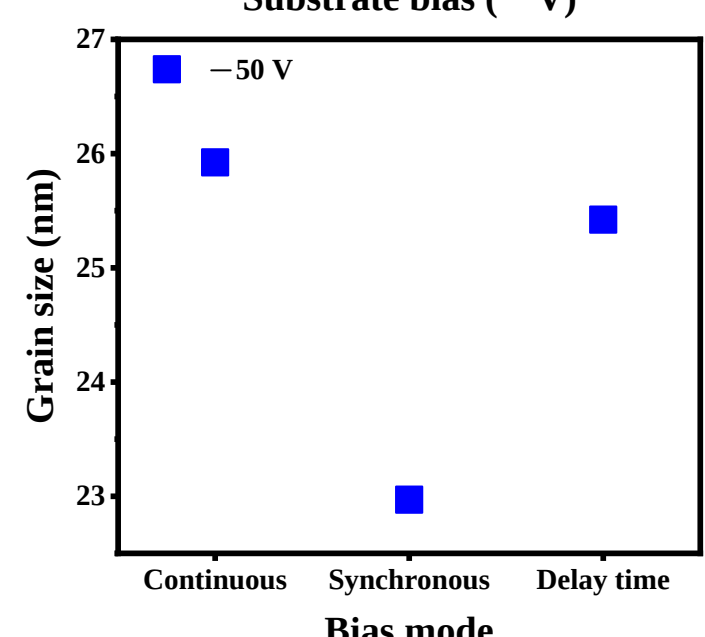
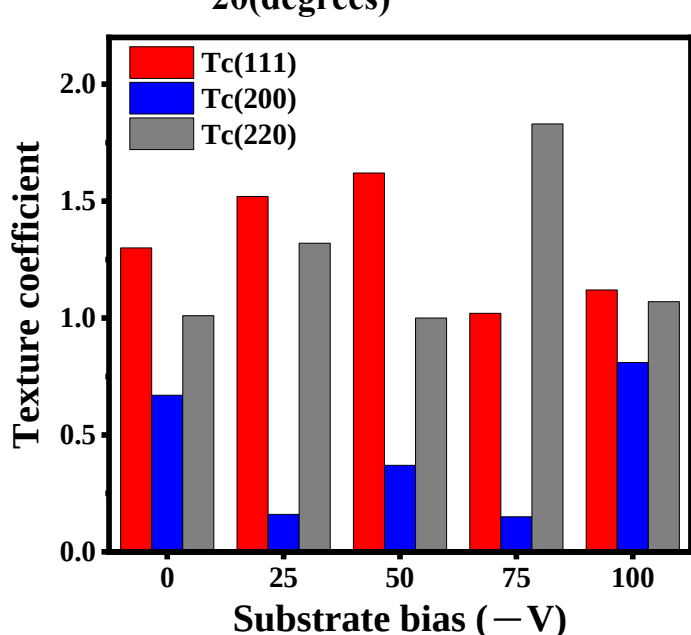
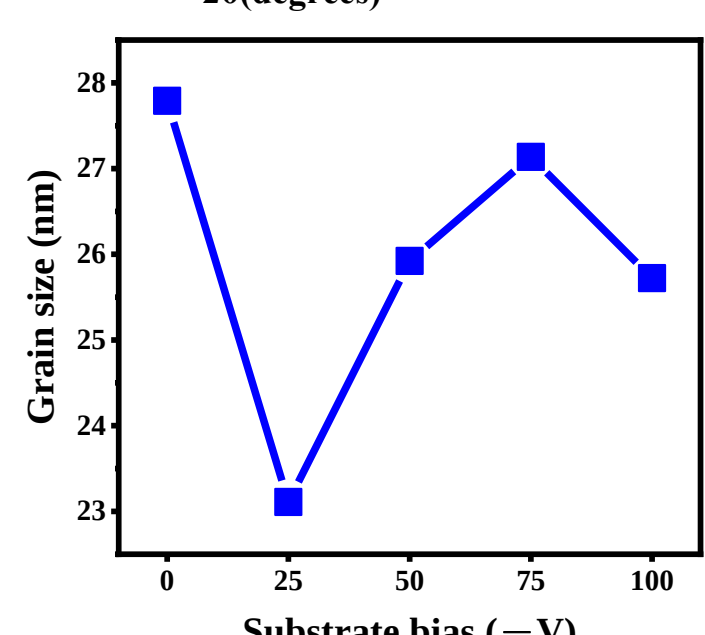
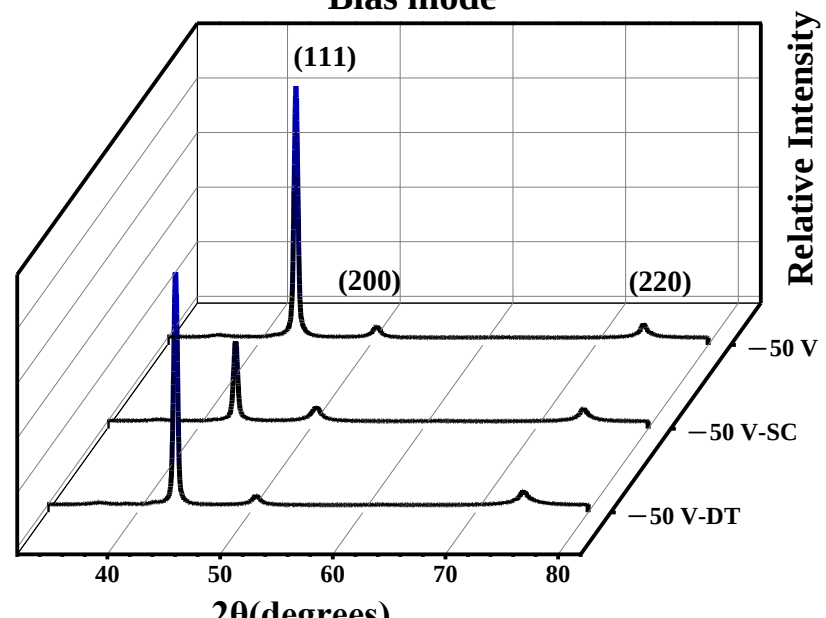
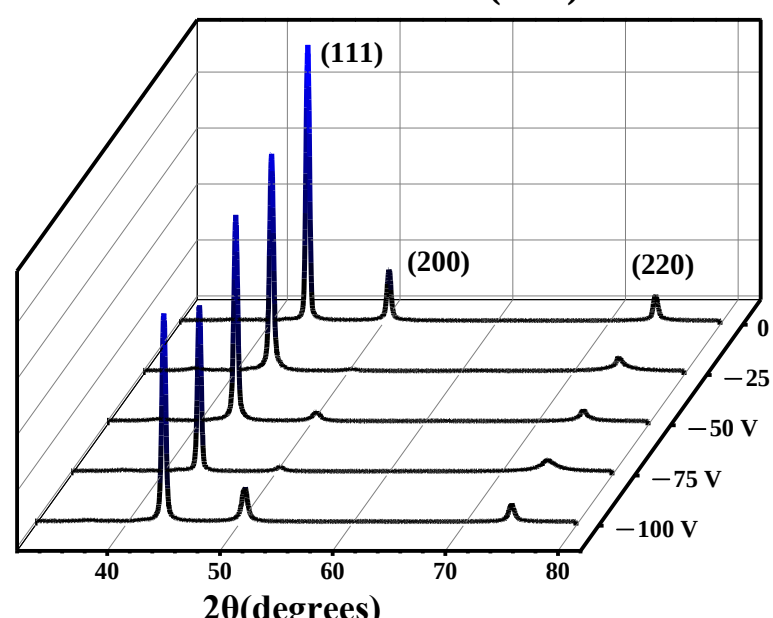
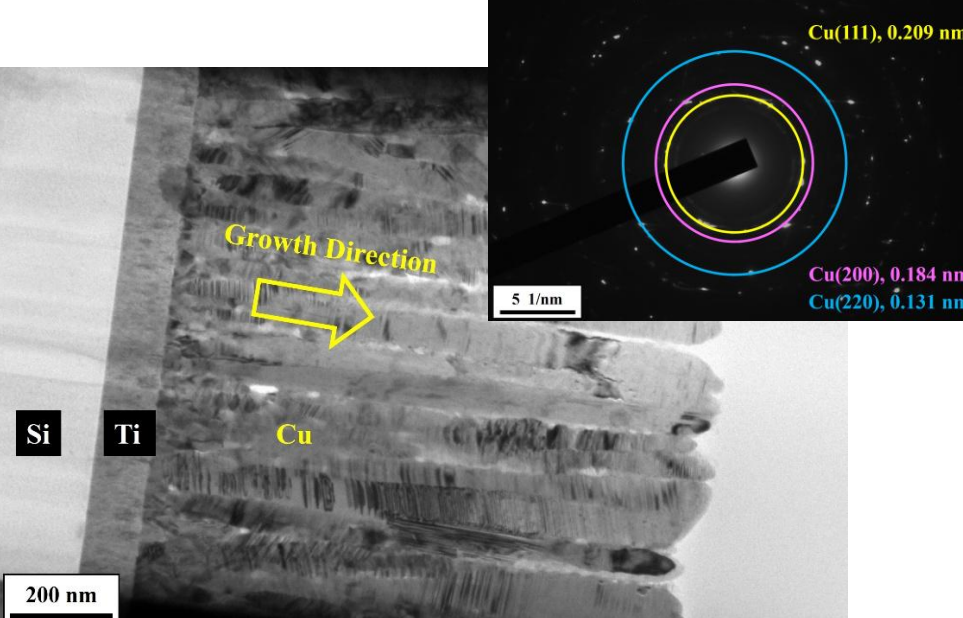
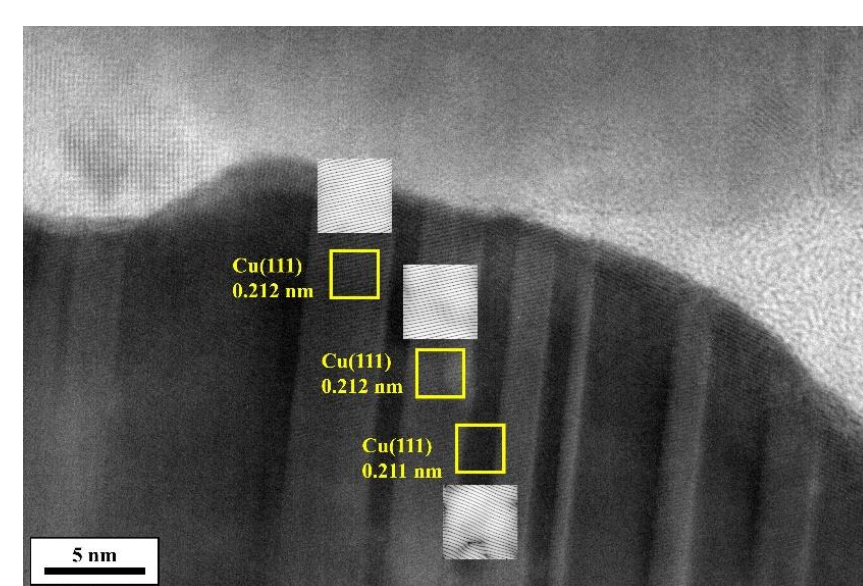
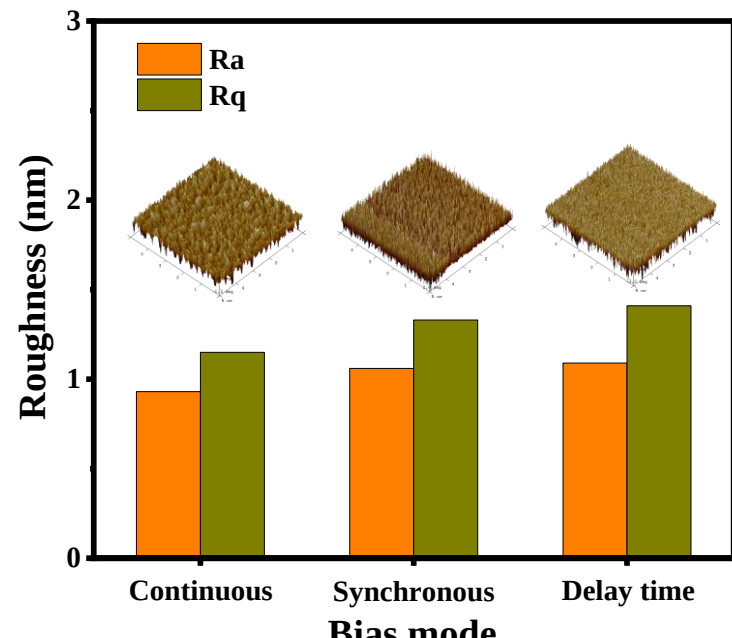
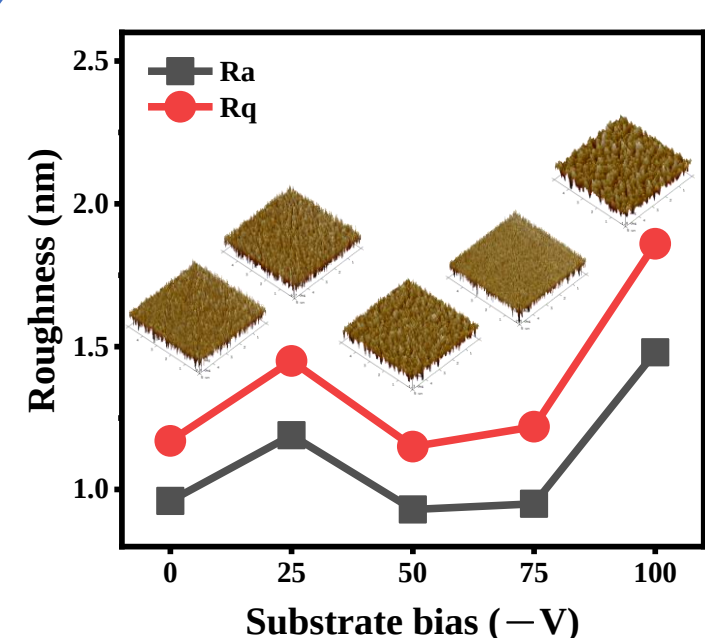
偏壓尖峰電壓電流圖



銅-OES光譜圖

實驗成果

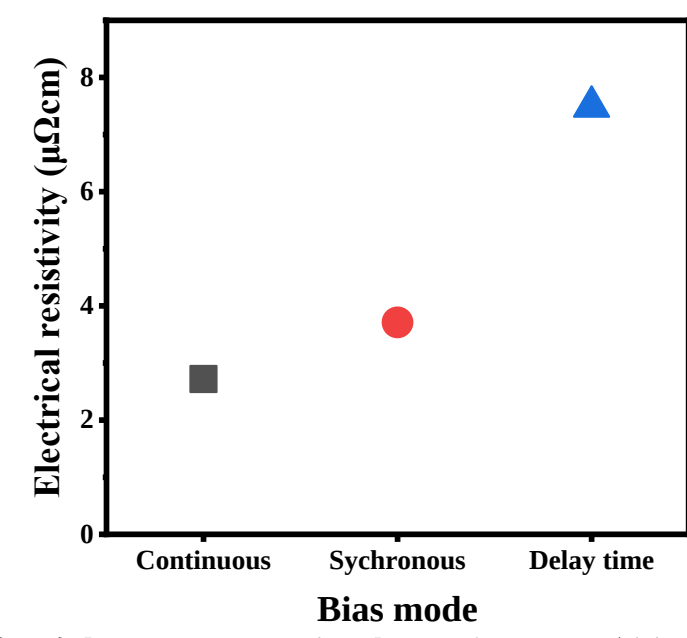
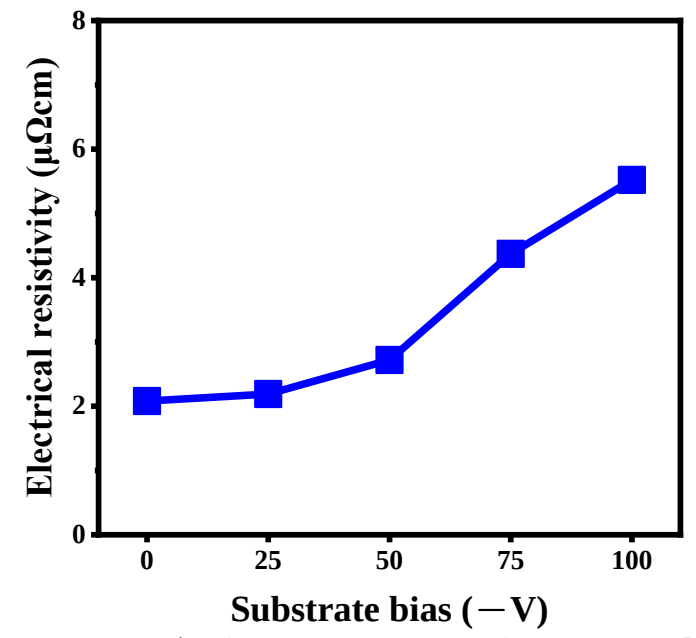
結構分析



$$d = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$
$$TC(hkl) = \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \left[\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \right]^{-1}$$

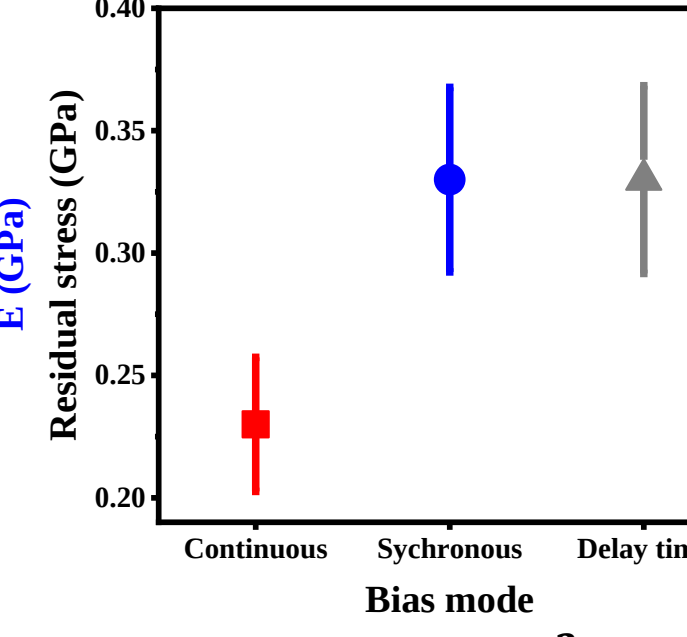
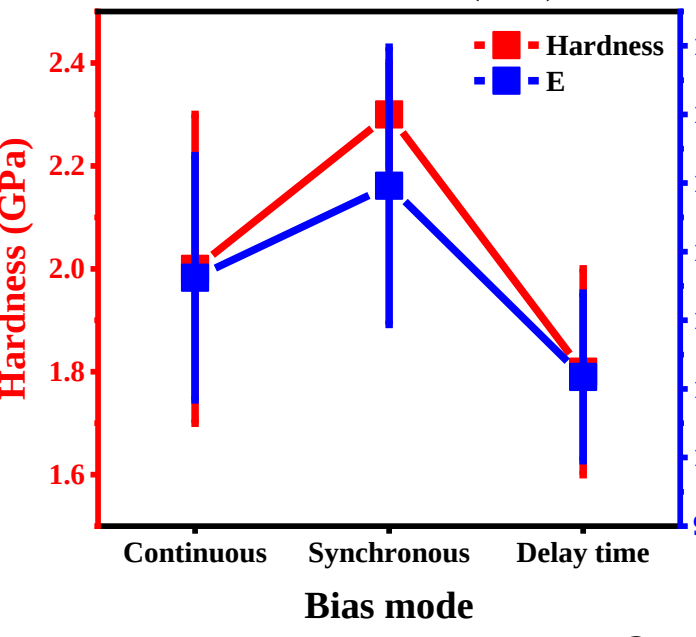
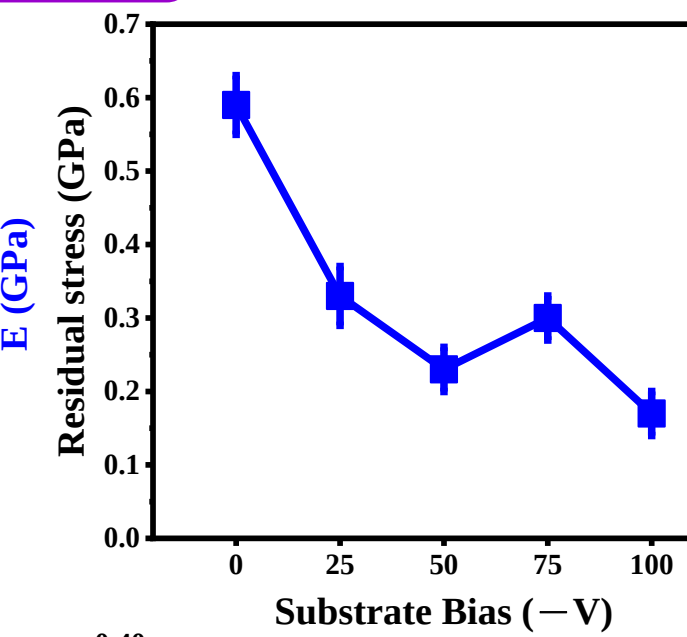
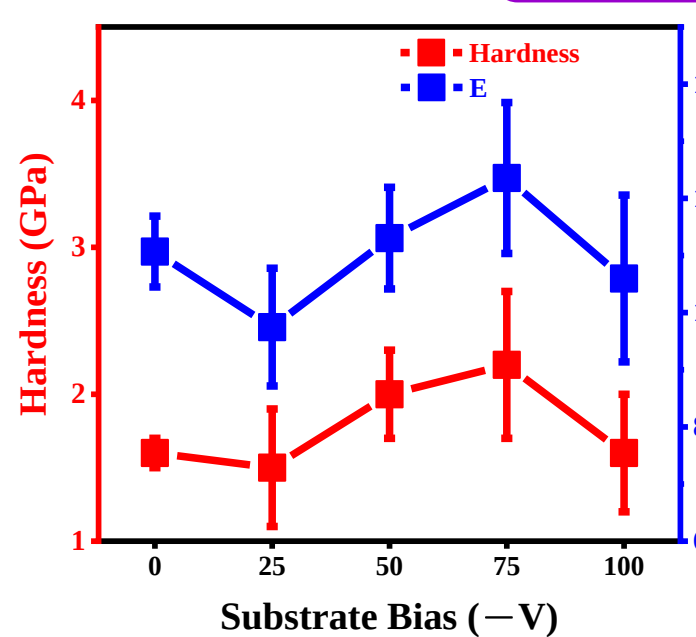
- AFM量測表面粗糙度，偏壓大小及模式對粗糙度的影響不大，Rq值介於1.15~1.86 nm之間，鍍膜相當緻密。
- 從XRD測得繞射峰方向為(111)、(200)、(220)，並從公式算出晶粒尺寸d值為23.11~27.79 nm。織構係數計算出膜層的為優選取向，持續模式的偏壓製程，鍍膜以(111)為優選取向時，鍍膜的電阻率最小：2.08 μΩcm。
- 利用FIB製備TEM試片(-50 V延遲模式)，可觀察鍍膜為柱狀晶，且呈現雙晶結構。

電學性質



- 偏壓大小與模式會使電阻率提升，從2.08~5.52 μΩcm與2.72~7.49 μΩcm。

機械性質



- 利用奈米壓痕儀測得在偏壓大小與模式下硬度最高可達到2.0 GPa與2.3 GPa。
- 殘留應力隨偏壓的增加與模式下得到張應力的降低，從0.59~0.17 GPa。

結論

- 利用AFM量測鍍膜表面粗糙度，改變偏壓大小及偏壓模式，HiPIMS所製備的銅膜表面粗糙度Ra < 2 nm。
- 使用XRD獲得鍍膜的繞射光譜，並計算其織構係數，數據顯示：當偏壓超過-50 V時，鍍膜的優選取向由(111)漸漸轉為(220)。
- 利用奈米壓痕儀量測，數據顯示施加偏壓有助於硬度提升，偏壓為-75 V時鍍膜硬度2.0 GPa，同步偏壓模式-50 V其硬度值達2.3 GPa。
- 藉由殘留應力分析儀分析鍍膜的殘留應力，連續偏壓模式所獲得雙晶銅膜皆為張應力，且鍍膜張應力隨偏壓增加而減少。
- 偏壓的添加會導致銅膜的電阻率增加，未施加偏壓銅膜電阻率為2.08 μΩcm，隨著偏壓值-100 V，銅膜的電阻率為5.52 μΩcm。

本研究承蒙國科會計畫NSTC 112-2221-E-131-01、NSTC 113-2813-C-131-018-E及NTSC 113-2224-E-131-001之經費支援，特此致謝。